



I. P. Ващишак

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ПРОЄКТУВАННЯ ГРАВІТАЦІЙНО-КОЛОВОРІТНИХ ГЕС ДЛЯ МАЛИХ РІЧОК ПРИКАРПАТТЯ

Розглянуто ефективність використання малої гідроенергетики у світі та перспективи її розвитку в Україні. Зазначено, що гідропотенціал великої частини річок Прикарпаття через незначні напори вздовж їх русел для виробництва електроенергії використовують рідко. Для генерації електроенергії малими річками Прикарпаття пропонуємо застосувати гравітаційно-коловоротну ГЕС, яка працює за допомогою водяного виру. Така ГЕС може генерувати електроенергію значної потужності на ділянках річки з незначними напорами. Перевагами гравітаційно-коловоротних ГЕС також є їх мінімальний вплив на живі організми річки через низьку частоту обертів турбін і відсутність замерзання води взимку. Обґрунтовано вибір оптимального способу розміщення гідротурбіни у вирі гравітаційно-коловоротної ГЕС, шляхом встановлення колеса гідротурбіни в нижній частині виру. Електрогенератор і редуктор розміщуються на зовнішній поверхні ГЕС і з'єднуються з гідротурбіною за допомогою валу. Перевагою цього способу встановлення гідротурбіни є те, що вона практично не впливає на формування виру. За таких умов вся енергія виру використовується для обертання гідротурбіни, бо практично весь об'єм води контактує з її лопатками. Запропонований спосіб дає змогу зменшити до мінімуму розміри робочого колеса гідротурбіни та отримати високий ККД. Наведено методику розрахунку гравітаційно-коловоротних ГЕС для отримання електричних (потужність, частота) параметрів її генератора відповідно до заданих витрати та напору водяного потоку ділянки річки. Наведено умови для утворення виру. Для зменшення негативного впливу на стік річки запропоновано використовувати для роботи малої ГЕС не більше 25 % її середнього багаторічного стоку. За наведеною методикою розраховано каскад з 5-ти малих ГЕС для ділянки річки Бистриця Надвірнянська (м. Івано-Франківськ). Розраховано ступінь редукції редукторів для генераторів ГЕС. Місця для встановлення ГЕС вибирали з найбільшим перепадом висот вздовж русла річки та в місцях зливання русла з меншими річками. Довжина ділянки ріки для розміщення цих ГЕС становить 6 км. Підібрано гідротурбіни з генераторами та системами автоматики для використання їх у складі розрахованих малих гравітаційно-коловоротних ГЕС. Об'єднання гравітаційно-коловоротних ГЕС у загальну енергетичну систему дасть змогу отримати значну електричну генерацію з ділянок річок, гідроенергетичний потенціал яких раніше не використовувався.

Ключові слова: гравітаційно-коловоротна станція; методика розрахунку; генерація електроенергії; мала ГЕС; гідротурбіна.

Вступ

За умов постійного зростання тарифів на електроенергію та вартості обладнання для її постачання виникає потреба автономного енергозабезпечення віддалених об'єктів, зокрема тих, що розміщені біля русел невеликих річок. Гідроелектростанції (ГЕС) невеликого розміру і потужності (дериваційні, шнекові малі ГЕС) здатні повністю забезпечити електроенергією певні об'єкти, розміщені поблизу річок (млини, птахоферми, метеорологічні та насосні станції, зрошувальні системи, станції мобільного зв'язку тощо), однак для нормальної роботи таких ГЕС необхідне створення потужного водяного напору, що потребує значних перепадів висот на коротких ділянках річок, створення гребель або дериваційних водоводів значної довжини.

Застосування властивості водяного виру збільшувати швидкість водяного потоку, який витікає під дією гравітаційних сил, призвело до створення нового виду малих ГЕС – гравітаційно-коловоротних [14]. Саме цей вид малих ГЕС і повинен забезпечувати стабільний

довготривалий виробіток електроенергії за незначних перепадів висот та потужностей водяних потоків малих річок Прикарпаття.

Об'єкт дослідження – розрахунок параметрів малої гідроелектростанції під час її проектування.

Предмет дослідження – методика проектування малої ГК ГЕС для річок з низьким напором водяних потоків.

Мета роботи – розробленні методики розрахунку гравітаційно-коловоротних ГЕС, які дадуть змогу використовувати гідропотенціал малих річок Прикарпаття для генерації електроенергії.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: обґрунтувати вибір способу розміщення гідротурбіни у вирі гравітаційно-коловоротної (ГК) ГЕС; розробити методику розрахунку гравітаційно-коловоротних та електричних параметрів ГК ГЕС; для прикладу, розрахувати каскад малих ГК ГЕС для однієї з річок Прикарпаття.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження

Інформація про авторів:

Ващишак Ірина Романівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра енергетичного менеджменту та технічної діагностики.

Email: savchyn.ira@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9078-6726>

Цитування за ДСТУ: Ващишак І. Р. Проектування гравітаційно-коловоротних гес для малих річок Прикарпаття. Науковий вісник НЛТУ України. 2021, т. 31, № 2. С. 93–97.

Citation APA: Vashchyshak, I. R. (2021). Designing gravity-rotary hydroelectric power plants for small rivers of the Carpathian region. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(2), 93–97. <https://doi.org/10.36930/40310215>

дження – вперше розроблено методику розрахунку гідравлічних характеристик малої гравітаційно-коловоротної ГЕС, що дає змогу отримати електричні параметри генератора відповідно до заданих значень витрати та напору водяного потоку малої річки.

Практична значущість результатів дослідження – запропонована методика може бути використана для проектування каскадів ГК ГЕС на малих річках для забезпечення автономного електропостачання об'єктів, розташованих поблизу їх русел.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У багатьох розвинених країнах світу мала гідроелектрогенерація набула широкого розвитку. Наприклад, у Швейцарії частка виробництва електроенергії на малих ГЕС становить 8,3 %, в Іспанії – 2,8 %, у Швеції – майже 3 %, в Австрії – 10 %. Ще вищих показників вдалося досягти Китаю, де близько 18-20 % всієї електроенергії виробляють понад 80 тис. малих ГЕС [14]. З огляду на досвід розвинених країн, зокрема ЄС, які мають різні території та рівень економічного розвитку, можна стверджувати, що розвиток малої гідроенергетики є прогресивним кроком у світовій енергетиці і вартий наслідування [5].

Україна також має потужні ресурси гідроенергії малих річок. Загальний гідроенергетичний потенціал малих річок України сягає близько 12,5 млрд кВт·год, що становить близько 28 % від загального гідропотенціалу всіх річок у країні. Причому більша частина цього потенціалу зосереджена в західних регіонах України [2]. Однак гідропотенціал великої частини річок Прикарпаття через незначні перепади висот вздовж їх русел для виробництва електроенергії використовують рідко.

Для роботи багатьох малих ГЕС не потрібно греблі, а для створення напору води в них використовують дериваційні водоводи. Зазвичай ці споруди будують з меншим ухилом, ніж ухил річки, для того щоб спрямовувати весь річковий стік або його частину до водозабірної чи іншої гідротехнічної споруди [12]. Оскільки територія України, окрім Карпат, в основному рівнинна, то створити значні перепади висот для роботи дериваційних ГЕС доволі складно. Цю проблему вирішує мала ГЕС австрійського винахідника Франца Цотльоте-

рера, яку він назвав гравітаційно-коловоротною станцією [7]. Винахідник запропонував частину потоку поблизу берега відводити в спеціальний канал, що спрямовує воду до греблі у вигляді циліндра (рис. 1). Гребля є бетонним циліндром, до якого вода підходить по дотичній та зривається в центрі у глибину. Так у центрі циліндра утворюється вир, який і закручує турбіну.

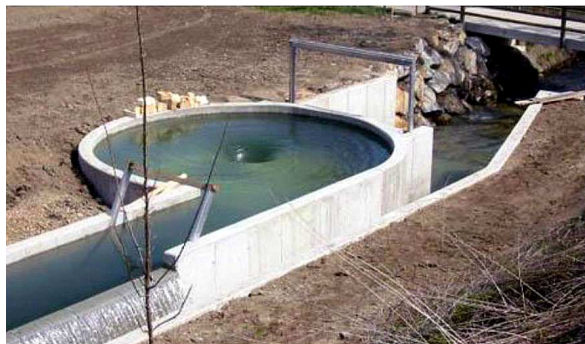


Рис. 1. Гравітаційно-коловоротна ГЕС

Через те, що ГК малі ГЕС починають працювати з напорами від 0,7 м, то саме їх найдоцільніше використовувати у Прикарпатті на малих річках з незначним гідроенергетичним потенціалом. Перевагами ГК ГЕС також є їх мінімальний вплив на рибу та живі організми річки через низьку частоту обертів турбін і відсутність замерзання води взимку через наявність виру.

Результати дослідження та їх обговорення

Для мінімізації розмірів робочого колеса гідротурбіни (ГТ) малої ГЕС та отримання високого ККД розглянемо способи, якими можна розмістити турбіни в ГК ГЕС. Розміщення ГТ у верхній частині виру наведено на рис. 2, а. Тут робоче колесо турбіни 1, до якого прикріплено вал 2 з редуктором 3 та електрогенератором 4, частково занурене у воду. Створюється вир 5 з потоку води, що подається каналом 6, а витікає каналом 7. Вся конструкція гідротурбогенератора розміщується над виром у верхній частині бетонного корпусу малої ГЕС 8. Перевагами такого розміщення є можливість простого кріплення гідротурбогенератора та зручність обслуговування, ремонту і заміни вузлів.

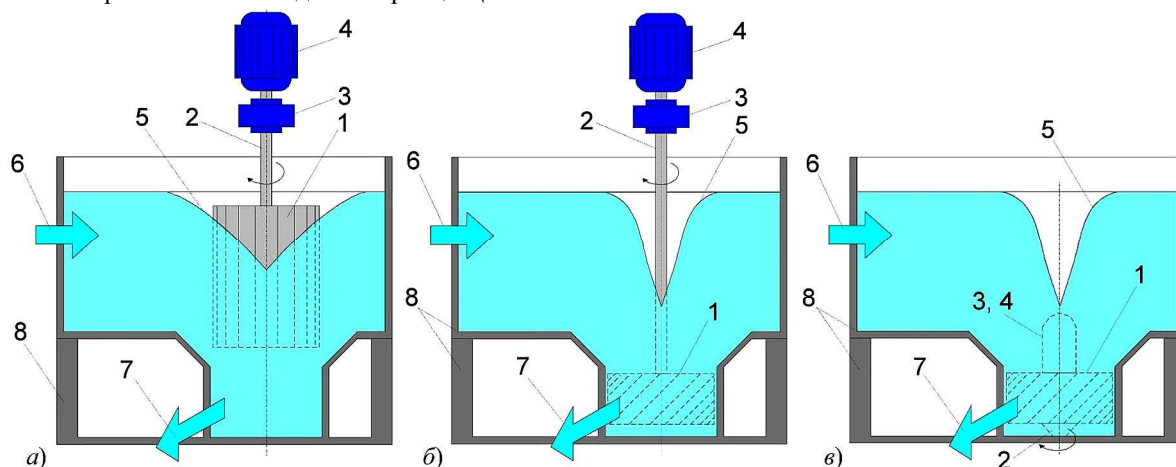


Рис. 2. Способи розміщення ГТ під час проектування ГК ГЕС: а) ГТ у верхній частині виру; б) ГТ у нижній частині виру; в) гідротурбогенератор у нижній частині виру; 1) робоче колесо турбіни; 2) вал; 3) редуктор; 4) електрогенератор; 5) вир; 6) канал для подачі води; 7) канал для витoku води

До недоліків варто віднести великі розміри ГТ через те, що частина її робочого колеса розміщена у воді, а частина – на повітрі, та негативний вплив ГТ на утво-

рення виру, оскільки турбіна сповільнює швидкість води у вирі. Внаслідок цього оберти ГТ є досить повільними, через що потрібно застосовувати редуктор зі

значним ступенем редукції. Окрім цього, енергія виру використовується не повністю через те, що частина води не торкається лопаток турбіни, а відразу йде на злив.

Інший варіант встановлення ГТ наведено на рис. 2,б. У цьому випадку колесо ГТ встановлюється в нижній частині виру 5, а інші вузли гідротурбогенератора – як у попередньому прикладі.

Перевагою цього способу встановлення ГТ є те, що вона практично не впливає на формування виру 5, який, в цьому випадку, закручується з максимальною швидкістю і має круті стінки. За таких умов вся енергія виру використовується для обертання ГТ, бо практично весь об'єм води контактує з її лопатками, а оберти ГТ зростають. Ще одним способом є встановлення не тільки робочого колеса ГТ, а всього гідротурбогенератора у нижній частині виру 5 (див. рис. 2,в). Гідротурбогенератор, в цьому випадку, поєднує у собі вал 2, редуктор 3 та електрогенератор 4, створюючи суцільну водонепроникну конструкцію.

На формування виру така конструкція майже не впливає, зате має малі розміри і високу ефективність [8]. Однак обслуговування такого гідротурбогенератора потребує перекриття води й осушування водоводу. Також неможливо окремо ремонтувати чи замінити котрийсь з його вузлів, не зупиняючи роботу станції. Окрім цього, конструкції подібних гідротурбогенераторів тільки почали експлуатуватись, а тому достовірної інформації про їх надійність і експлуатаційні характеристики наразі немає.

З наведеного можна зробити висновок, що найкращою схемою розташування ГТ з кута зору надійності та простоти обслуговування є схема з її розміщенням у нижній частині виру (див. рис. 2,б).

Для отримання оптимальних електричних (потужність, частота) параметрів генератора малої ГЕС відповідно до заданих витрати та напору водяного потоку необхідно навести методику її гідравлічного розрахунку.

Потужність [4], що розвивається ГТ ГЕС, визначають з виразу

$$P_T = m_6 \cdot \frac{Q \cdot H}{\omega} \cdot \eta_T, \quad (1)$$

де: m_6 – маса одиниці об'єму води, кг; Q – витрата води, л/с; H – робочий напір, м; ω – циклічна частота обертання турбіни, рад/с; η_T – повний ККД турбіни.

З іншого боку, потужність ГТ греблевих та дериваційних ГЕС [6] можна розрахувати за формулою

$$P_T = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T, \quad (2)$$

де $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина води; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Очевидним є той факт, що потужність гідротурбіни зі спрямовувальним каналом не буде залежати від водного режиму річки, якщо її мінімальний стік перевищує кількість води, що надходить в спрямовувальний канал. Ширина і висота спрямовувального каналу визначають розрахункову потужність гравітаційно-коловоротної станції. Отже, для того, щоб ГК ГЕС негативно не впливали на стік води у річках, пропонуємо, щоб для своєї роботи вони використовували не більше 25 % середнього багаторічного стоку рік.

Електричну потужність генератора малої ГЕС визначають з виразу [11]

$$P_E = \rho \cdot g \cdot Q \cdot [H - (h_e + h_i)] \cdot e_t \cdot e_g \cdot (1 - f_i) \cdot (1 - f_i), \quad (3)$$

де: h_e – гідравлічні втрати; h_i – інші втрати; e_t – коефіцієнт використання при середньому багаторічному стоці Q ; e_g – ефективність генератора; f_i – втрати трансформатора; f_i – інші втрати електроенергії.

Через те, що ГК ГЕС працюють за допомогою водяного виру, то на його утворення впливає коефіцієнт стиснення струменя рідини. Під час витікання рідини з круглого отвору у плоскому дні ємкості, лінії потоку рідини підходять з ємкості до отвору з усіх боків пучком, який сходиться до середини. При цьому тиск до центра пучка зростає, а швидкості падають. Після проходження отвору лінії потоку спочатку продовжують зближуватись, а потім випрямляються і стають паралельними. У цьому місці знаходиться мінімальний переріз струменя S_c . Надалі вільний струмінь розширюється і подрібнюється. Звідси визначають коефіцієнт стиснення струменя рідини [9]:

$$\varepsilon = S_c / S. \quad (4)$$

Під час витікання рідини через насадки є можливість змінювати характеристики струменя. Для варіанта ГК ГЕС найбільше підходить конічна насадка (рис. 3). У міру зменшення вихідного перерізу S_2 цієї насадки він наближається до стисненого перерізу S_c . Тому зменшуються втрати на раптове розширення струменя за стиснутим перерізом, які залежать від відношення S_c / S_2 . Тому з ростом кута конусності θ коефіцієнт швидкості ϕ_H неперервно зростає. Коефіцієнт витрати також зростає, але менше, оскільки у виразі коефіцієнта витрати $\mu_H = \varepsilon \cdot \phi_H$ величина ϕ_H зростає, а ε – зменшується.

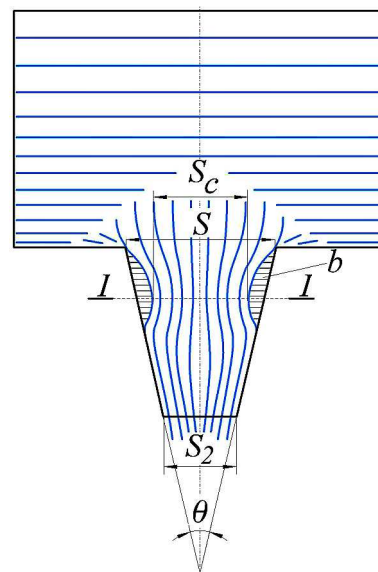


Рис. 3. Процес витікання рідини з відкритої ємкості через насадку

Коефіцієнт швидкості розраховують з виразу [10]

$$\phi_H = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \zeta_{TC}}}, \quad (5)$$

де: α – коефіцієнт втрат на ділянці від входу в отвір до стисненого перерізу; ζ_{TC} – коефіцієнт гідравлічних втрат отвору. При $\theta = 13,24^\circ$ характер витікання змінюється. До цієї величини кута θ вакуум в зоні b зменшується, як і стиснення струменя в перерізі $I-I$. При $\theta = 13,24$ розміри вихідного і стиснутого перерізів стають однаковими, зона b зникає і насадка починає пра-

цювати вихідним перерізом як отвір у тонкій стінці – стиснення струменя здійснюється вже після виходу його з насадки, яка повністю заповнена рідиною.

Подальше збільшення кута конусності супроводжується незначним зростанням φ_H за значного збільшення коефіцієнта стиснення струменя ε . Унаслідок μ_H починає зменшуватись. У середньому, при кутах конусності $\theta = 13...14^\circ$ можна прийняти такі значення величин: $\zeta_{TC} = 0,09$; $\alpha = 1$.

Виникнення водяних вирів перед отворами спостерігається під час витікання з донних отворів або за малих напорів під час спорожнення резервуарів. Інтенсивність вирів буває настільки велика, що повітряний джгут, який утворюється всередині цих вирів, йде на велику глибину і знижує динаміку потоку та пропускну здатність отвору (рис. 4). Тому в розрахунках на пропуску здатність і динамічні характеристики необхідно враховувати критичний напір $H_{кр}$ [9].

Критичний напір для малої ГК ГЕС визначають з виразу [9]

$$H_{кр} = 0,5 \cdot D \cdot \left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot D}} \right)^{0,55}, \quad (6)$$

де: D – діаметр донного отвору, м; V – швидкість витікання рідини через отвір діаметром D з витратою Q , м/с.

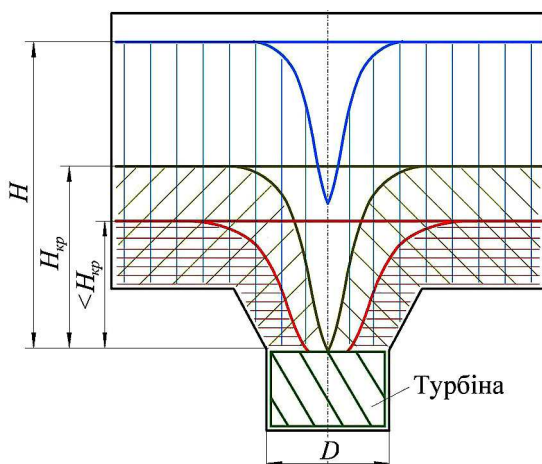


Рис. 4. Виникнення водяних вирів у відкритих посудинах

Швидкість витікання рідини з отвору діаметром D розраховують з такого рівняння [9]:

$$V = \frac{Q}{S_{до.о.}} = \frac{4 \cdot Q}{\varepsilon \cdot \pi \cdot D^2}, \quad (7)$$

де: ε – коефіцієнт стиснення струменя рідини; $S_{до.о.}$ – площа поперечного перерізу донного отвору, з якого виливається рідина, м²:

$$S_{до.о.} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}. \quad (8)$$

Необхідний напір для пропуску через отвір діаметром D заданої витрати Q визначають з виразу [9]

$$H = \frac{Q^2}{\mu_H^2 \cdot S_{до.о.}^2 \cdot 2 \cdot g}. \quad (9)$$

Для покращення динамічних характеристик малої ГК ГЕС повинна задовольнятися така умова [9]:

$$H > H_{кр}. \quad (10)$$

Діаметр робочого колеса ГТ повинен становити понад 80 % діаметра донного отвору D . Для роботи у складі ГК ГЕС з кутів зору екологічної безпеки, склад-

ності та вартості найкраще підходять пропелерні турбіни. Куту швидкість обертання пропелерних турбін визначають з виразу [3]

$$\omega = \frac{Z \cdot \sqrt{\rho} \cdot (g \cdot H)^{5/4}}{\sqrt{P_T}}, \quad (11)$$

де Z – коефіцієнт швидкохідності турбіни. Частоту обертання турбіни в Гц визначають за формулою:

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}. \quad (12)$$

Після цього можна вибирати тип електрогідротурбогенератора. За наведеною методикою розраховано каскад малих ГК ГЕС для річки Бистриця Надвірнянська зі загальним гідропотенціалом 66742 кВт, що протікає поблизу Івано-Франківська. Місця для встановлення ГЕС вибирали з найбільшим перепадом висот вздовж русла річки, та в місцях зливання русла з меншими річками на ділянці завдовжки 6 км.

Використані величини та результати розрахунків наведено у таблиці. Для розрахунку потужності електрогенератора P_E згідно з виразом (3) застосовували такі значення величин: h_c – 0,07; h_i – 0,01; e_t – 0,85; e_g – 0,9; f_t – 0,1; f_i – 0,01. Ступінь редукції редукторів для генераторів ГК ГЕС визначали за відношенням до необхідної їх робочої частоти 50 Гц з виразу

$$\zeta = 50 / f. \quad (13)$$

Як гідротурбогенератори для розрахованих малих ГК ГЕС можна вибрати малогабаритні гідротурбіни китайського виробництва із системами автоматики, наприклад, типів ZD760 [13] потужністю до 50 кВт та HL-WJ-30 [1] потужністю від 100 кВт. Такі турбіни забезпечать стабільне виробництво електроенергії впродовж тривалого часу, а об'єднання ГК ГЕС у загальну енергетичну систему дасть змогу отримати значну електричну потужність з ділянок річок, гідроенергетичний потенціал яких раніше не використовували. Узгодження параметрів струму, отриманого від окремих ГК ГЕС, є складною технічною проблемою, а тому буде предметом наступних досліджень.

Таблиця. Результати розрахунку основних характеристик малих ГЕС на річці Бистриця Надвірнянська

Параметр	Номер малої ГЕС				
	1	2	3	4	5
g , м/с ²	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
ρ , кг/м ³	1000	1000	1000	1000	1000
α	1	1	1	1	1
ζ	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
μ_H	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
η_m	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
ε	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
D , м	0,4	1,14	0,78	1,47	1,4
Q , м ³ /с	0,55	4,5	1,7	6,75	6,75
m , кг	550	4500	1700	6750	6750
Z	3	3	3	3	3
φ_H	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
$S_{до.о.}$, м ²	0,13	1,02	0,48	1,7	1,54
H , м	2,96	3,00	1,96	2,44	2,97
$H_{кр}$, м	0,31	0,66	0,45	0,75	0,77
V , м/с	4,38	4,41	3,56	3,98	4,39
ω , рад/с	60,47	21,37	25,21	14,95	17,31
f , Гц	9,63	3,4	4,01	2,38	2,76
ζ	5,19	14,7	12,47	21	18,12
P_T , кВт	11,18	92,78	22,83	113,26	137,67
P_E , кВт	10,59	87,94	21,32	106,68	130,45

Висновки

Застосування ГК ГЕС дасть змогу забезпечити електроенергією об'єкти, розміщені біля русел малих річок Прикарпаття з незначним гідроенергетичним потенціалом. Обґрунтовано спосіб розміщення ГТ у вирі ГК ГЕС, за якого вона знаходиться у нижній частині виру, а електрогенератор розташовується над виром у верхній частині бетонного корпусу ГЕС та з'єднується з ГТ валом. Це підвищує надійність електрогідротурбогенератора та спрощує його обслуговування. Розроблена методика розрахунку параметрів ГК станцій дасть змогу проектувати малі ГЕС під різні потужності споживання електроенергії відповідно до умов рельєфу місцевості та гідроенергетичного потенціалу річки. Для прикладу, розраховано каскад малих ГК ГЕС для річки Бистриця Надвірнянська, звідки видно, що на ділянці річки завдовжки 6 км можна отримати близько 350 кВт електричної потужності.

References

1. 500 kVt mikro Gidroturbina/Kaplan mini vodnaya moschnost. Retrieved from; https://russian.alibaba.com/product-detail/500kw-micro-hydro-turbine-kaplan-mini-water-power-62591359227.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.64875fb2qq0frd
2. Derzhenerhoefektyvnosti Ukrainy. Hidroenerhetyka. Retrieved from: <http://saee.gov.ua/uk/ae/hydroenergy>
3. Faleev, D. S. (2003). *Vozobnovlenie i resursosberegayushchie istochniki energii: Fizicheskie osnovy, prakticheskie zadachi; primeneniye dlya elektropitaniya ustroystv avtomatiki, telemekhaniki i svyazi na zheleznodorozhnom transporte: ucheb. posobie.* (4th ed. add. and revised). Habarovsk: DVGUPS, 175 p. [In Russian].
4. Lukutin, B. V. (2008). *Vozobnovlyemye istochniki elektroenerгии: uchebnoe posobie.* Tomsk: FGAOU VO "NI TPU", 187 p. [In Russian].
5. Mala hidroenerhetyka Ukrainy. *Tekhnolohichni osoblyvosti malykh HES.* Retrieved from: <http://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES2.pdf>
6. Mihaylov, L. P., & Feldman, B. L. (Eds.). (1989). *Malaya gidroenergetika.* In L. P. Mihaylova (Ed.). Moscow: Energoatomizdat, 184 p. [In Russian].
7. Mini-HES po pryntsypu vodovorotu. Retrieved from: <http://aenergy.ru/865>
8. Nova vodovorotna turbina zrobyla hidroenerhetyku "zelenoiu". Retrieved from; <https://ecotechnica.com.ua/energy/voda/3137-novaya-vodovorotnaya-turbina-sdelaet-gidroenergetiku-po-nastoyashchemu-zelenoj.html>
9. Obozov, A. Dzh., & Amraev, D. D. (2014). Rezultaty analiza dinamicheskoy voronki v turbinnoy chasti mikro GES. *Izvestiya OshTU.* (2nd ed. add. and revised), 77–80. [In Russian].
10. Plevako, N. A. (1960). *Osnovnyy gidravliki i gidravlicheskie mashiny.* Moscow: Rostehizdat, 427 p. [In Russian].
11. Retscreen Engineering & Cases Textbook. Small hydro project analysis chapter. *Minister of Natural – Resources Canada 2001-2004.* 50art. [In Canada].
12. Tekhnichnyi zvit z otsinky potentsialu vidnovliuvanoi enerhetyky v Ukraini. Mali HES. *Prohrama finansuvannia alternatyvnoi enerhetyky v Ukraini (USELF).* Retrieved from: http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/U-Small_Hydro_Technical_Report.pdf
13. Turbina Kaplana. Retrieved from: http://www.electway-store.com/index.php?main_page=product_info&cPath=1_65&products_id=292
14. Vikipediia. Mali HES Ukrainy. Retrieved from; https://uk.wikipedia.org/wiki/Mali_GES_Ukraini.

I. R. Vashchyshak

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

DESIGNING GRAVITY-ROTARY HYDROELECTRIC POWER PLANTS FOR SMALL RIVERS OF THE CARPATHIAN REGION

The research starts with the analysis of the situation of small hydropower engineering in the world. It substantiates the reasonability of the use of small hydropower engineering on the rivers of Ukraine. It is noted that the hydropower potential of small Precarpathian rivers is underused for electric power generation because of a low hydraulic head of the stream. To enable electric power generation by small Precarpathian rivers, the use of a gravitation water vortex power plant is suggested. It uses water vortex for operation and can generate high electric power in places with a low water head. The advantages of such power plants include high ecological compatibility and the ability to operate in any season of the year. The research substantiates the method of placement of a water turbine in the vortex of a gravitation water vortex power plant. According to the suggested method, the water turbine wheel is placed in the lower part of the vortex and the generator and the reduction unit on the external surface of the hydropower plant. The generator and the reduction unit are connected to the water turbine by means of a shaft. Since practically the entire water volume comes in contact with the water turbine blades, the entire vortex energy is used for its rotation. This allows making the size of the water turbine wheel as small as possible and therefore increasing its efficiency. A method of calculation of the characteristics of a gravitation water vortex power plant is presented. The method enables the calculation of an optimal electric power output and rotational speed of the generator of a small hydropower plant depending on the given values of consumption and head of the river stream. The method also provides the conditions for the improvement of the dynamic characteristics of the vortex. To reduce the adverse impact of a small hydropower plant on the river stream, it is suggested to use not more than 25 % of its average volume for power generation. The research provides calculations for 5 small hydropower plants on the Bystrytsia Nadvirnianska River. The author has also selected the corresponding water turbines with generators and automation systems for the technical implementation of the calculated small hydropower plants. This will enable autonomous power supply for the facilities and buildings located near small rivers.

Keywords: gravitation water vortex power plant; method of calculation; generation of electricity; mini hydroelectric power stations; turbines.